



BORIVOJE N. DOBRILOVIĆ

GODIŠNJI HOD TEMPERATURE TLA U BEOGRADU

(period 1927–1940)

Uvod. Početkom ovog veka (1901) započelo se sa merenjima temperature tla u Meteorološkoj opservatoriji u Beogradu. Merenja su vršena u tri vrste zemljišta: pesku, krečnjaku i običnoj zemlji, i na prilično velikom broju dubina. Za vreme balkanskih ratova bila su reducirana merenja na izvesnim dubinama, a potpuno prekinuta krajem juna 1914 g. Ona su obnovljena 1925 g. i u toku 1926 uglavnom kompletirana u pogledu dubina na kojima je manje više uobičajeno da se vrše merenja ove vrste, pa se 1927 g. može uzeti kao početna godina novog niza merenja, koji će se ovog puta završiti početkom novog svetskog rata, u aprilu 1941 g. Posle Oslobođenja započelo se ponovo sa merenjima temperature tla u Meteorološkoj opservatoriji.

Osmatranja temperature tla dele se prema tome u tri odvojena niza, prvi od 1902—1914, drugi od 1927—1940 i treći od 1946 pa nadalje. Nizovi se razlikuju po dubinama na kojima su vršena merenja, po smeštaju termometara i po načinu (časovima) merenja. Od rezultata merenja publikovani su jedino rezultati merenja prvog niza i to samo za godine 1902—1905 [1].

Iscrpni podaci o merenjima temperature tla u Beogradu u periodu 1902—1914 mogu se naći u tri poznate studije P. Vujevića [2, 3 i 4], jer je podloga za sve tri bio osmatrački materijal Meteorološke opservatorije u Beogradu, i to podaci prvog niza merenja. Ovde ćemo istaći samo neke glavne karakteristike prvog niza merenja: časovna osmatranja temperature tla sve do dubine od 60 cm, neobičnu homogenost niza u pogledu dubina, smeštaja termometara i načina osmatranja i veliki broj dubina do kojih su vršena merenja. Samo u zemlji merenja su vršena na 25 različitih nivoa, a protezala su se sve do dubine od 24 m.

Drugi niz osmatranja, koji će poslužiti kao podloga ovom radu, znatno je oskudniji od prvog niza. Osmatranja su vršena jedino u klimatološkim terminima (7, 14 i 21 čas po lokalnom vremenu), a

merenja su se protezala svega do dubine od tri metra. Niz nije homogen ni u pogledu dubina, a ni u pogledu smeštaja termometara. Zbog postojećih razlika između prvog i drugog niza, smatramo da drugi niz treba odvojeno obraditi, pa tek posle detaljnog ispitivanja uslova pod kojima su vršena merenja u oba niza izvući eventualno srednje vrednosti koje rezultuju iz oba perioda.

P. Vujević je u navedenim studijama obuhvatio uglavnom celu problematiku toplotnog stanja beogradskog tla i izvršio iscrpnu naučnu analizu za ono vreme neobično retkog i interesantnog osmatračkog materijala, analizu, koja je otkrila nekoliko značajnih činjenica u toplotnom režimu tla i mikroklimatskog sloja vazduha. Spomenimo samo sekundarni maksimum temperature vazduha na visini od jednog metra [2, 5] i poznate, i u razne udžbenike prenošene, izoplete i tautohrone beogradskog tla. Ovde će se izneti samo nekoliko novih momenata u pogledu godišnjeg hoda temperature tla do kojih smo došli na osnovu rezultata merenja u periodu 1927—1940, i dati tabelarni pregledi nekih uobičajenih srednjih vrednosti za ovaj niz merenja.

Materijal osmatranja. Osmatranja temperature tla u periodu 1927—1940 obuhvataju merenja u zemlji i pesku. Ovde ćemo se zadržati samo na rezultatima merenja u zemlji. Rezultati merenja u pesku prikazani su na drugom mestu. Termometri u zemlji bili su postavljeni na sledećim dubinama: 0, 2, 5, 10, 20. 25, 30, 50, 60, 70, 75, 90, 100, 120, 200, 220, 300 i 320cm. Merenja na dubinama 0, 2, 5, 10, 20 i 30cm vršena su pomoću termometara neposredno pobodenih u zemlju, a na ostalim dubinama pomoću termometara smeštenih u dva Lamont-ova ormana (I i II). Do 1-I-1931 g. osmatrane su u ova dva ormana temperature na dubinama 30, 60 i 90cm u jednom (I) i na 70, 90, 120, 220 i 320cm u drugom (II). Od tog datuma dubine su nešto izmenjene, u I su iznosile 25, 50 i 75cm, a u II 50, 100, 200 i 300cm i ostale su nepromenjene sve do kraja ovog niza merenja. Mislimo da je nepotrebno davati ovde podatke o lomu ili nestanku termometara na izvesnim dubinama i vremenskom trajanju prekida merenja koje je bilo usled toga prouzrokovano, pošto se u svim ovim slučajevima radilo u kraćim vremenskim prekidima, tako da su vrednosti temperatura na izvesnoj dubini mogle biti prilično tačno interpolisane pomoću vrednosti dveju obližnjih dubina, te nisu mogle da utiču na vrednost izvedenih srednjaka. Vrednosti temperatura na 25, 50 i 75cm u ormanu I i na 50, 100, 200 i 300cm u ormanu II za period od 1927—1930 g. dobijene su linearnom interpolacijom vrednosti temperatura na dubinama 30, 60 i 90 cm i 70, 120, 220 i 320cm.

Termometri neposredno pobodeni u tlo i oni koji su se nalazili u ormanu I očitavani su u sva tri klimatološka termina, dok su termometri u ormanu II čitani samo jedanput dnevno, i to u 7 časova ujutru. U toku zime sneg je čišćen oko termometara samo toliko da se oslobode termometarske skale i omogući čitanje. Sva merenja su vršena u krugu Meteorološke opservatorije u zemljištu koje, koliko

nam je poznato, hemiski nije bilo analizirano, ali koje svakako spada u neku vrstu rodne zemlje [3, str. 99].

Statistička masa ovog niza merenja temperature zemlje obuhvata preko 150.000 podataka.

Srednje mesečne i godišnje vrednosti. Raspolažući rezultatima osmatranja vršenim samo u klimatološkim terminima, bilo je moguće izvršiti jedino analizu godišnjeg hoda temperature, jer su tri osmatranja u toku jednog dana nedovoljna da bi se nešto pouzdano moglo reći o dnevnom hodu. Iz tog razloga ovde će se isključivo tretirati godišnji hod, a terminske vrednosti daće se na kraju, u prilogu. Srednje temperature na dubinama na kojima su vršena tri osmatranja dobijene su kao aritmetički srednjak terminskih rezultata merenja. Ovde se neće ulaziti u pitanje kojim se računskim metodom i do kojih dubina dobija iz tri klimatološka termina srednja dnevna temperatura najpribližnija stvarnoj srednjoj dnevnoj temperaturi, već će se upotrebljeni metod smatrati ispravnim za sve dubine.

Smatrali smo za potrebno da u neke priložene tablice unesemo i odgovarajuće temperature vazduha, merene u termometarskom zaklonu, da bismo omogućili neposredno poređenje toplotnog stanja vazduha i tla.

U tablici 1 date su vrednosti srednjih mesečnih i godišnjih temperatura za sve dubine na kojima su vršena merenja u periodu 1927—1940. Prvo su upisane vrednosti dobijene pomoću termometara neposredno pobodenih u zemlju, zatim vrednosti dobijene pomoću termometara smeštenih u Lamont-ovom ormanu I i na kraju vrednosti dobijene merenjima u Lamont-ovom ormanu II. Za dubinu od 50 cm dali smo dve vrednosti temperatura, da bismo pokazali uticaj različitog smeštaja i načina osmatranja. Obe temperature merene su u Lamont-ovim ormanima, ali su one u ormanu II više za 0,2°C gotovo u svim mesecima, i rečito govore o već spomenutom uticaju različitog smeštaja termometara i načina osmatranja.

Srednje godišnje temperature zemlje na svim dubinama veće su od srednje godišnje temperature vazduha. Ovo je nesumnjivo posledica veće apsorpcione moći tla u pogledu sunčevog zračenja, a i zaštitnog delovanja snega u pogledu noćnog izračivanja u toku zimskih meseci. Srednje mesečne temperature površine tla veće su, izuzev u novembru mesecu, od odgovarajućih temperatura vazduha. Možda je ovo poređenje sigurnije izvršiti sa vrednostima temperature na dubini od 2cm, ali i ono pokazuje uglavnom isto; vrednosti na 2cm su veće od onih u vazduhu u svim mesecima osim u oktobru i novembru.

Mislimo da grafički prikazi mogu da pruže očigledniju pretstavu godišnjeg hoda temperatura tla od brojnih vrednosti iznetih u tablici 1, pa smo iz tog razloga prikazali na slikama 1, 2 i 3 godišnji hod na tri uobičajena načina: temperaturskim krivama, tautohronama i izopletama.

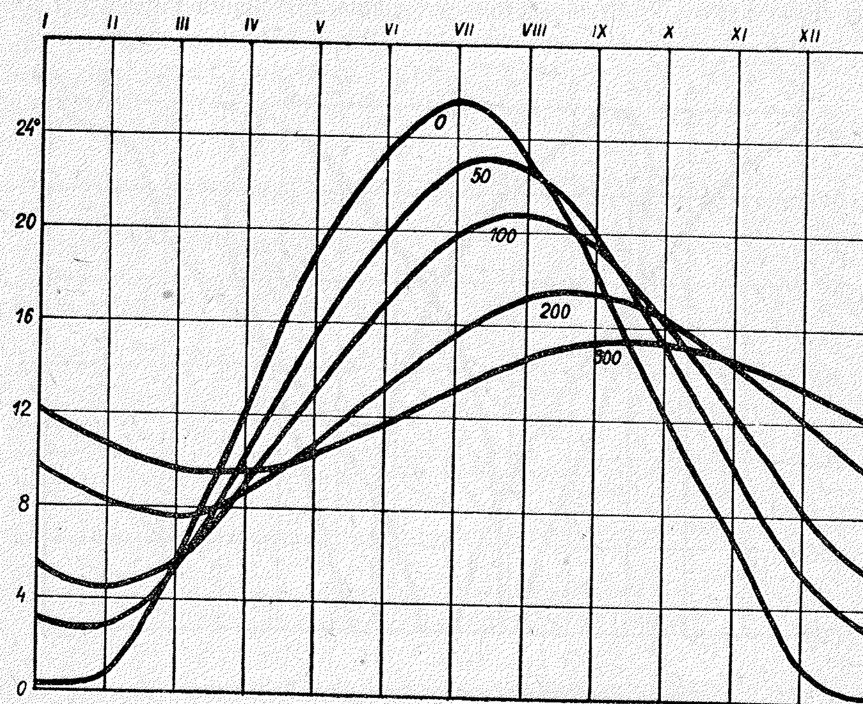
Tablica 1 — Table 1

Srednje mesečne temperature tla u Beogradu (period 1927—1940)

Mean monthly values of soil temperature in Belgrade (period 1927—1940)

dubina u cm depth in cm	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	god. year	ampl. annual temp. range
0	0,3	1,2	6,8	13,1	18,9	23,2	25,8	23,5	19,1	12,7	7,2	1,5	12,78	25,5
2	0,3	0,8	6,8	12,3	18,9	23,3	25,5	23,2	18,4	12,4	7,1	1,7	12,47	25,2
5	0,6	1,1	6,0	12,4	18,8	23,2	25,6	23,3	18,9	12,8	7,5	2,4	12,72	25,0
10	0,6	0,9	5,7	12,2	18,4	22,9	25,3	23,4	18,9	13,0	7,6	2,3	12,60	24,7
20	1,4	1,9	5,6	11,2	17,0	21,3	23,6	22,5	18,9	13,5	8,5	3,6	12,42	22,2
30	2,2	2,6	5,6	11,1	16,6	20,9	23,2	22,4	19,2	13,8	8,8	4,1	12,54	21,0
25	1,5	1,6	5,4	11,0	16,1	20,3	23,0	22,5	19,0	14,0	9,0	4,2	12,47	21,5
50	3,0	2,6	5,4	10,4	15,5	19,6	22,6	22,4	19,7	15,0	10,3	5,4	12,63	20,0
75	4,4	3,7	5,5	9,6	14,2	18,1	21,0	21,5	19,6	15,7	11,5	7,0	12,65	17,8
50	3,2	2,8	5,6	10,3	15,6	19,7	22,8	22,6	19,9	15,3	10,3	5,6	12,81	20,0
100	5,5	4,5	5,7	9,2	13,2	16,9	19,8	20,8	19,4	16,3	12,5	8,3	12,67	16,3
200	9,8	8,3	7,7	8,7	10,8	13,3	15,6	17,2	17,4	16,4	14,5	12,2	12,66	9,7
300	12,1	10,8	9,8	9,6	10,4	11,7	13,2	14,6	15,3	15,4	14,7	13,5	12,59	5,8
vazduh air	-0,3	0,3	6,3	11,8	16,9	20,7	23,0	21,5	17,9	12,7	7,7	1,1	11,63	23,3

Temperaturske krive na slici 1 jasno pokazuju opadanje amplitude i pomicanje vremena pojave ekstremnih vrednosti sa dubinom kod godišnjih hodova. Godišnje kolebanje temperature smanji se za 19,7°C od površine do 300cm, a vreme nastupanja maksimuma i minimuma pomakne se od jula na oktobar, odnosno od januara na april. Lako se može konstatovati i brža promena srednjih mesečnih temperatura sa dubinom u gornjim slojevima u odnosu na promene koje se javljaju kod ovih temperatura u slojevima većih dubina. Karakteristično je kod ovog prikaza mislimo i to, da nulta izoterma leži kod svih dubina ispod vrednosti najhladnijih meseci, iako su u ovom prilično kratkom periodu bile dve oštre zime 1928/29 i 1939/40, a samo jedna blaga 1935/36.

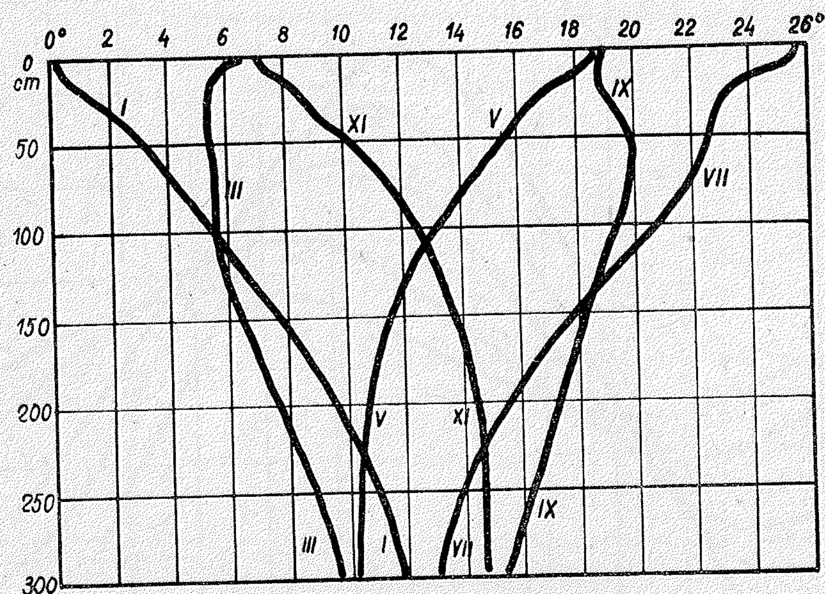


Sl. 1 Godišnji hod temperature tla na raznim dubinama u Beogradu

Fig. 1. The annual course of soil temperature at different depths in Belgrade

Temperaturski profil beogradskog tla do dubine od tri metra prikazan je u mesecima I, III, V, VII, IX i XI tautohronama na slici 2. Raspodela temperature u dva ekstremna meseca, januaru i julu, bitno se razlikuje. Januarska raspodela može se prema Vojejkovu [6] svrstati u radiacioni, a julska u insolacioni tip. „Magaziniranjem toplotne energije u gornjim zemaljskim slojevima u proleće i u leto i postupnim izdavanjem te magazinirane energije u jesen i zimu, zatim dužim

trajanjem insolacije u leto, a radijacije u zimu ovaj pojav (misli se na raspodelu temperature sa dubinom) se da potpuno objasniti" [3, str. 125]. Pada u oči skoro potpuna simetričnost između tautohrona za mesece I, III i XI i tautohrona za mesece VII, IX i V, ako se kao osa simetrije uzme izoterma od 13°C, dakle, vrednost bliska srednjim godišnjim temperaturama na svim dubinama. Uočena simetričnost prikazuje grafički činjenicu da srednje mesečne vrednosti odgovarajućih meseci, pa prema tome i maksimumi i minimumi godišnjeg hoda, otstupaju skoro na svim dubinama podjednako od srednje godišnje vrednosti. Na osnovu ovoga „može se zaključiti, da na godišnju periodu ne utiče u određenom pravcu nikakav faktor većeg značaja. Inače bi ovaj sistem teutohrona bio u izvesnom pravcu manje ili više nagnut...", [3, str. 126], kao što se to napr. može primetiti kod dnevnog hoda u pojedinim mesecima. Neznatna otstupanja tautohrona od

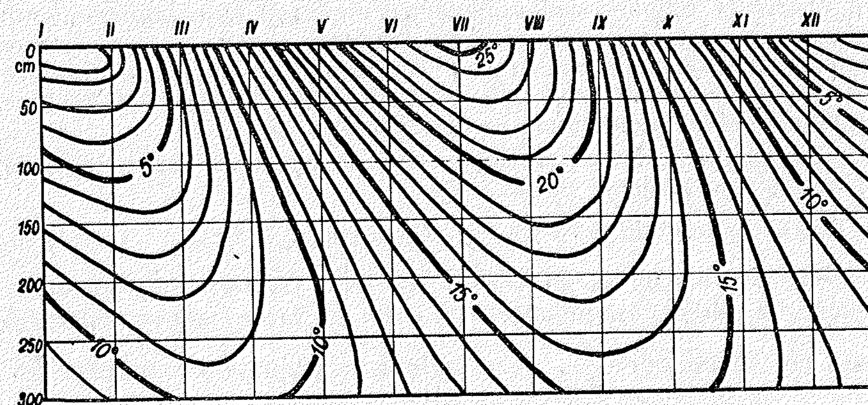


Sl. 2. Tautohrone temperatura tla u Beogradu
Fig. 2. Tautochrones of soil temperature in Belgrade

uočene simetrije primećuju se uglavnom samo u gornjim slojevima zemlje. Tako, tautohrone za jul i septembar pokazuju kao neki „manjak" u zagrejanosti tla, prva u sloju od 20 do 70cm, a druga od 0 do 60cm. Tautohrone za mart i maj pokazuju naprotiv izvestan „višak" u zagrejanosti najviših slojeva, prva do 10cm, a druga do 20cm. Ove male nepravilnosti u toku pojedinih tautohrona mogu se objasniti sporim provođenjem toplote kroz zemlju, bilo da ona dolazi od viših ka nižim slojevima ili obrnuto. Novembarska i januarska tautohrona imaju u ovim slojevima znatno pravilniji tok, koji

je posledica radijacije, mnogo mirnijeg i postojanijeg procesa od insolacije. U slojevima ispod 100cm izčezavaju skoro potpuno ovi mali poremećaji u toku tautohrona.

Promene i kretanja toplotnih struja u zemlji na raznim dubinama i u raznim vremenima mogu se pratiti bilo prema tautohronama ili prema izopletama; ove poslednje prikazane su na slici 3. Smer toplotne struje određuje se lako iz nagnutosti tautohrona: struja je upravljena na gore ako su tautohrone nagnute prema nižim temperaturama, i obrnuto; njena jačina je utoliko veća ukoliko je nagib veći. Ukoliko se struja određuje iz izopleta dolazi se do sledeće konstatacije ...„geoterme (izoplete) kod kojih je konkavna strana okrenuta prema nižim temperaturama označavaju krive rashlađenja, a one kod kojih je konkavna strana okrenuta prema većim temperaturama krive zagrevanja. Na mestima gde su se geoterme zbile jedna uz drugu, toplotna struja je jaka, a gde su razdaleko i struja je slaba". [3, str. 129]. Izoplete na slici 3 omogućuju takođe i vrlo lako praćenje promena amplitude i pomicanje faznih vremena sa dubinom, pojava koje će se nešto iscrpnije analizirati docnije.



Sl. 3. Izoplete temperatura tla u Beogradu.
Fig. 3. Isopleths of soil temperature in Belgrade

Srednje godišnje temperature pokazuju u sloju do 75cm srazmerno prilična kolebanja. Ako se izuzme poremećaj na 2cm zapaža se izrazitiji minimum u sloju od 20 do 30cm, i znatno slabije izražen maksimum na dubini između 50 i 60cm. Raspodelom srednjih godišnjih temperatura u gornjim slojevima zemlje bavilo se više autora: Wild, Leyst, Vojejkov i drugi, ali nam se čini da je najprihvatljivije teorisko objašnjenje za pojavu minimuma na dubini od 30cm dao Vujević [3, str. 132 i 133], prema kome se ovaj minimum sa uspehom može objasniti uticajem dnevnog hoda temperature na godišnju tautohronu. Poznato je, naime, da su do izvesne dubine otstupanja maksimuma od srednje vrednosti veća od otstupanja minimuma u dnevnom

nom hodu. Zbog ovoga, a i zbog raspodele ovih otstupanja sa dubinom, doći će do modifikacije godišnje tautohrone u sloju do 50 cm. Maksimum na dubini između 50 i 60cm mislimo da bi se mogao objasniti prestankom delovanja dnevnog hoda i uspostavljanja toplotnog režima uglavnom uplivisanog godišnjim hodom. Iz podataka merenja ovog perioda nije se moglo zaključiti o postojanju nekog maksimuma na dubini od 90cm koga je Vujević mogao da konstatuje [3, str. 130] na osnovu rezultata merenja u periodu 1902—1906. Srednje godišnje temperature pokazuju u slojevima ispod 100cm neznatne promene. Malo smanjenje srednje godišnje temperature opaža se jedino na dubini od 300cm.

Harmoniska analiza. Iz grafičkog prikaza godišnjih hodova temperature tla (sl. 1) jasno se vidi da su oni periodične pojave, pa se kao i svaka periodična pojava mogu prikazati trigonometriskim polinomima, odnosno pretstaviti zbirom nekoliko naležućih, obično sinusnih, talasa i na taj način doći do njihovih analitičkih izraza. Kako su godišnji hodovi temperature tla periodične pojave sa izraženim godišnjim periodom, praktično je obično dovoljno odrediti pored talasa sa godišnjim periodom još i polugodišnji talas, pa da njihov zbir pruži već potpuno zadovoljavajuće vrednosti koje od osmotrenih otstupaju tek za koji deo stepena. Međutim, pošto su temperature površinskih slojeva tla uplivisane i činiocima koji imaju znatno kraće periode, aproksimirali smo, radi jednoobraznosti, sve godišnje hodove trigonometriskim polinomima sa šest članova.

Za analitički izraz godišnjeg hoda temperature upotrebljen je trigonometriski polinom oblika:

$$T(x) = a_0 + a_1 \sin(\varphi_1 + x) + \dots + a_6 \sin(\varphi_6 + 6x), \qquad (1)$$

u kome koeficijent a_0 pretstavlja srednju vrednost aproksimirane funkcije, a_1 do a_6 amplitude, a φ_1 do φ_6 fazne uglove naležućih talasa čiji su periodi $\frac{2\pi}{n}$. Fazni uglovi računaju se od početka godine, a x se za pojedine mesece razlikuje po 30°; za januar ima vrednost 0°.

U tablici 2 dati su koeficijenti trigonometriskih polinoma, čijom se smenom u izraz (1) lako dolazi do analitičkih izraza godišnjeg hoda temperature u pojedinim dubinama.

Raspolažući izrazima za godišnje hodove temperature, u mogućnosti smo da ispitamo dve glavne karakteristike osnovnog, godišnjeg talasa: promenu njegove amplitude i zaostajanje vremena pojave ekstremnih vrednosti sa dubinom. Napred je već bilo ukazano na znatno opadanje kolebanja i na pomicanje faze sa dubinom, a sada će se to i analitički prikazati. Već sam pogled na grafički prikaz promene godišnje vrednosti amplitude sa dubinom (slika 4) sugerira da je ova promena eksponencijalne prirode i da se može izraziti sledećom jednostavnom relacijom:

$$A_z = A_0 e^{-mz} \qquad (2)$$

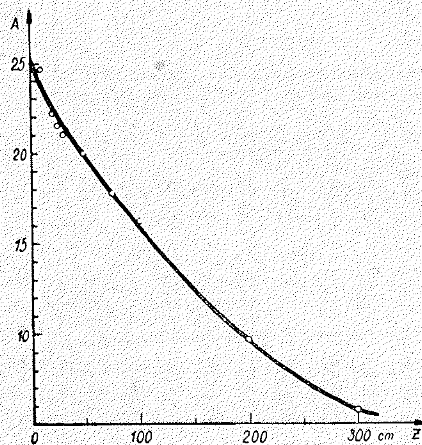
Tablica 2 — Table 2

Koeficijenti trigonometriskog polinoma

The coefficients of trigonometric polynome

dubina u cm depth in cm	a_0	a_1	φ_1	a_2	φ_2	a_3	φ_3	a_4	φ_4	a_5	φ_5	a_6	φ_6
0	12,78	12,600	269°41'	0,170	260°10'	0,300	236°20'	0,202	81°45'	0,143	44°20'	0,242	90°
2	12,47	12,570	269° 7'	0,412	168°25'	0,177	228°40'	0,189	52°30'	0,119	74°29'	0.192	90°
5	12,72	12,390	268° 5'	0,381	169°52'	0,213	218°35'	0,136	78° 8'	0,051	19°30'	0,183	90°
10	12,60	12,350	267° 2'	0,331	175°40'	0,217	212°37'	0,189	67°40'	0.114	61°10'	0,150	90°
20	12,42	11,124	263°10'	0,212	182°10'	0,120	213°50'	0,074	173°45'	0,070	10°	0,083	90°
30	12,54	10,676	261°49'	0,013	150°	0,069	104°14'	0,067	29°40'	—	—	0,058	90°
50	12,81	10,129	255°11'	0,039	169°28'	—	—	0,130	56°20'	0,011	225°	0,092	90°
75	12,65	8,930	248°55'	0,076	199°10'	0,105	161°35'	0,104	13°57'	0,068	4°15'	0,050	90°
100	12,67	8,000	242°43'	0,093	218°50'	0,101	170°20'	0,104	13°53'	0,049	11°50'	0,008	90°
200	12,66	4,830	217°	0,104	106°10'	0,037	116°50'	0,044	311°20'	0,023	270°	0,025	270°
300	12,59	2,910	191°20'	0,088	70°44'	0,037	27°20'	0,034	329°45'	0,021	165°58'	0,008	270°

u kojoj A_z i A_0 pretstavljaju amplitude na dubini z i o, a m konstantu koja zavisi od vrste zemljišta, odnosno od koeficijenta njegovog temperaturskog provođenja i perioda talasa. Ukoliko se pretpostavi da je koeficijent konstantan u svim slojevima ispitivanog zemljišta može se iz gornjeg izraza odrediti amplituda na bilo kojoj traženoj dubini.



Sl. 4. Promena godišnje amplitude sa dubinom

Fig. 4. The change of annual temperature range with d-pth

Iz podataka merenja mogli smo da odredimo konstantu m, tako da izraz za promenu godišnje vrednosti amplitude sa porastom dubine u beogradskom tlu glasi:

$$A_z = 25{,}5e^{-0{,}0047z}; \qquad (2')$$

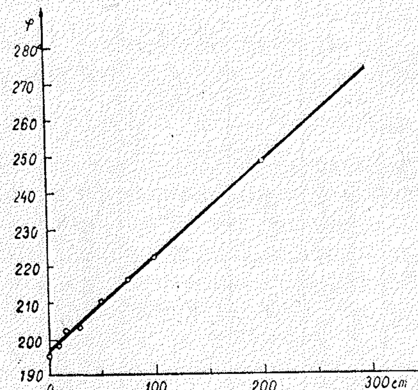
z je mereno u cm,

Razlike između stvarno opaženih amplituda (tablica 1), dobijenih harmoniskom analizom (tablica 2) i proračunatih po jednačini (2') daje sledeći tabelarni pregled. Iz njega se vidi da apsolutne razlike stvarno opaženo-proračunato ne iznose više od $\pm$ 1,2°C; relativne razlike su nekoliko puta manje. Razlike između vrednosti amplituda dobijenih harmoniskom analizom iz godišnjeg talasa i proračunatih po jedn. (2') manje su i ni za jednu dubinu ne prelaze $\pm$ 1,0°C. Pada u oči neobično dobro slaganje amplituda dobijenih iz prosečnih vrednosti rezultata merenja i iz

A_z	stvarno opaženo observed	dobijeno har. analizom obtained by har. analysis	proračunato po (2') computed from (2')	razlika stv. opaž.-pror. difference obs.-computed	razlika h. anal.-pror. difference h. anal.-com.
A_0	25,5°	25,2°	25,5°	0,0	-0,3°
A_{10}	24.7	24,7	24,3	0,4	0,4
A_{20}	22,2	22,2	23,2	-1,0	-1,0
A_{25}	21,5	—	22,7	-1,2	—
A_{30}	21.0	21,4	22,1	-1,1	-0,7
A_{50}	20,0	20,3	20,2	-0,2	0,1
A_{75}	17,8	17,9	17,9	-0,1	0,0
A_{100}	16,3	16,0	15,9	0,4	0,1
A_{200}	9,7	9,7	10,0	-0,3	-0,3
A_{300}	5,8	5,8	6,2	-0,4	-0,4

godišnjeg talasa harmoniske analize, što potvrđuje napred učinjenu konstataciju da je talas sa godišnjim periodom predominantan u godišnjem toku temperatura u tlu.

Dok amplituda eksponencijalno opada sa dubinom (sl. 4), pomicanje odnosno zakašnjavanje vremena pojava ekstremnih vrednosti dešava se linearno sa njenim porastom, što se neposredno može zaključiti iz grafika (slika 5) na kome je prikazana veza između vremena pojave maksimuma i porasta dubine. Grafik je izrađen na osnovu vrednosti datih u četvrtoj koloni tablice 3. Potpuno sličan grafik dobio bi se i za zaostajanje vremena pojave minimuma, pa je iz tog razloga on i izostavljen.



Sl. 5. Vreme pojave maksimuma na pojedinim dubinama

Fig. 5. The times of occurrence of maximum at different depths

Povezanost pojava prikazanih na grafiku (sl. 5) može se izraziti sledećom linearnom jednačinom:

$$\varphi_z = \varphi_0 + nz, \qquad (3)$$

u kojoj su φ_z i φ_0 vremena pojave jedne od ekstremnih vrednosti na dubini z i o, izražene napr., u uglovnoj meri, a n konstanta zavisna od temperaturskog provođenja tla i perioda talasa. Za zaostajanje vremena pojave ekstremnih vrednosti u beogradskom tlu dobili smo sledeće izraze:

$$\text{za maksimum} \qquad \varphi_z = 196.1 + 0{,}27z, \qquad (3')$$

$$\text{za minimum} \qquad \varphi'_z = 16{,}1 + 0{,}27z,$$

Koliko se slažu vremena pojave maksimuma i minimuma dobijena iz toka krivih godišnjeg hoda temperature tla na raznim dubinama, iz prvog sinusnog talasa i iz jednačine (3'), pokazuje tablica 3. Smatramo da vrednosti dobijene iz toka krivih godišnjeg hoda temperature pretstavljaju u izvesnoj meri stvarno opažena srednja vremena pojave, pa su zbog toga unete u tablicu i uzete kao vrednosti za poređenje. Vrednosti pojava date su u uglovnoj meri sa odgovarajućim datumom. Iz priloženih proračunatih razlika vidi se da se vrednosti dobro slažu. Razlike između vrednosti pojava dobijenih iz grafičkog prikaza godišnjeg hoda temperature i iz jednačine (3') veće su nego između vrednosti pojava koje daje prvi talas harmoniske analize i jednačina (3'). Razlike su veće kod minimuma nego kod maksimuma. Ovo povećanje razlike prouzrokovano je delimično nedovoljno izraženim oblikom krivih godišnjeg hoda temperature u oblasti minimuma. Pri svem tom ni najveća razlika, preračunata u dane, ne iznosi ni pet dana, pa je, po našem mišljenju, postignuto zadovoljavajuće slaganje odgovarajućih vrednosti.

Tablica 3 — Table 3

Vreme pojave maksimuma i minimuma u godišnjem hodu temperatura tla u Beogradu (period 1927—1940)
Times of occurrence of maxima and minima in annual course of soil temperature in Belgrade (period 1927—1940)

dubina u cm depth in cm	MAXIMUM grafik diagram ugao angle	datum date	har. analiza har. analysis ugao angle	datum date	jednačina (3') equation (3') ugao angle	datum date	MINIMUM grafik diagram ugao angle	datum date	har. analiza har. analysis ugao angle	datum date	jednačina (3') equation (3') ugao angle	datum date
0	194,0	16-VII	196,1	17-VII	196,1	17-VII	15,8	16-I	16,1	16-I	16,1	16-I
2	194,0	16-VII	196,6	18-VII	196,6	18-VII	15,8	16-I	16,6	17-I	16,6	17-I
5	195,0	17-VII	197,7	19-VII	197,4	19-VII	17,7	18-I	17,7	18-I	17,4	18-I
10	197,0	19-VII	198,7	20-VII	198,8	20-VII	19,7	20-I	18,7	19-I	18,8	19-I
20	199,1	21-VII	202,6	24-VII	201,5	23-VII	24,7	25-I	22,6	23-I	21,5	22-I
30	201,1	23-VII	203,9	26-VII	204,2	26-VII	28,6	29-I	23,9	24-I	24,2	24-I
50	209,0	31-VII	210,6	1-VIII	209,6	31-VII	34,5	4-II	30,6	31-I	29,6	30-I
75	214,0	5-VIII	216,8	8-VIII	216,3	7-VIII	37,4	7-II	36,8	6-II	36,3	5-II
100	220,9	12-VIII	223,0	14-VIII	223,1	14-VIII	41,4	11-II	43,0	12-II	43,1	12-II
200	246,5	7-IX	248,8	9-IX	250,1	10-IX	69,1	12-III	68,8	10-III	70,1	12-III
300	275,0	6-X	274,4	5-X	277,1	7-X	92,7	4-IV	94,4	5-IV	97,1	8-IV

Razlika har. analiza-proračunato (po jedn. 3') u stepenima
Difference har. analysis-computed (from equation 3') in degrees

dubina u cm depth in cm	0	2	5	10	20	30	50	75	100	200	300
razlika za max. / difference for max.	0,0	0,0	0,3	-0,1	1,1	-0,2	1,0	0,5	0,0	-1,3	-2,7
razlika za min. / difference for min.	0,0	0,0	0,3	-0,1	1,1	-0,2	1,0	0,5	0,0	-1,3	-2,7

Razlika grafik-proračunato (po jedn. 3') u stepenima
Difference diagram computed (from equation 3') in degrees

dubina u cm depth in cm	0	2	5	10	20	30	50	75	100	200	300
razlika za max. / difference for max.	-2,1	-2,6	-2,4	-1,8	-2,4	-3,1	-0,6	2,3	-2,2	-3,6	-2,1
razlika za min. / difference for min.	-0,3	-0,9	0,3	1,0	3,2	4,4	4,9	1,1	-1,7	-1,0	-4,4

Koeficijent temperaturskog provođenja. Provođenje toplote u tlu može se analitički prikazati poznatom diferencijalnom jednačinom Fourier-a:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = K \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}, \tag{4}$$

ako se pretpostavi da je tlo homogeno, izotropno i da se u njemu ne odigrava nikakva druga fizička pojava osim provođenja toplote. U gornjoj jednačini je $\frac{\partial T}{\partial t}$ promena temperature sa vremenom, $\frac{\partial^2 T}{\partial z^2}$ promena vertikalnog temperaturskog gradijenta sa dubinom, a K koeficijent temperaturskog provođenja. Ako se dalje pretpostavi da je temperatura tla prosta periodična funkcija vremena čija se amplituda menja eksponencijalno sa dubinom, a faza linearno (pretpostavke koje su u prvoj aproksimaciji ispunjene, kao što smo gore pokazali), mogu se iz jednačine (4) dobiti dva obrasca za izračunavanje koeficijenta temperaturskog provođenja:

$$K = \frac{\sqrt{\frac{\pi}{P}}\,(z - z_0)}{\ln A_0 - \ln A_z}$$

$$K = \frac{\sqrt{\frac{\pi}{P}}\,(z - z_0)}{\varphi_0 - \varphi_z}, \tag{5}$$

u kojima je K traženi koeficijent, P period, a A_0, A_z, φ_0, φ_z, z_0 i z imaju ista značenja kao i u izrazima (2) i (3).

Prve tri učinjene pretpostavke u pogledu provođenja toplote u tlu u znatnoj meri idealizuju ovaj proces, jer se toplota prenosi u tlu i konvektivnim putem, vodom u tlu, a i disanjem samog tla. Pored toga se, naročito u površinskim slojevima, vrši kretanje atmosferske vode i raznih organizama, a takođe se jednovremeno odigravaju i neke druge fizičke pojave kao napr. kondenzacija, isparavanje, smrzavanje itd. Već samo ovo nekoliko navedenih činjenica pokazuju da je proces provođenja toplote u tlu znatno zamršeniji nego što pretpostavlja teorija, pa je jasno da vrednosti koeficijenta temperaturskog provođenja dobijene iz jednačine (5) mogu da budu samo približne stvarnim vrednostima.

Laboratoriski se mogu odrediti vrednosti koeficijenta temperaturskog provođenja homogenih, hemiski tačno određenih materija iz kojih je sastavljeno tlo, ali prisustvo stalno promenljive količine vode i vazduha u tlu praktično onemogućava da se ovim putem dođe do stvarnih srednjih vrednosti traženog koeficijenta. U nedostatku tačnijih praktičnih metoda da se dobiju srednje vrednosti koeficijenta temperaturskog provođenja tla koriste se obrasci (5), ali se pri tome ima

na umu da oni daju samo, manje ili više, približne vrednosti, jer u tlu kao što je napred pomenuto, nisu nikad u potpunosti ispunjene one pretpostavke koje zahteva teorija.

Koeficijent temperaturskog provođenja može se izračunati ili iz logaritamskog priraštaja amplitude ili iz linearne promene faze nekog od naležućih talasa. Teoriski bi vrednosti dobijene bilo prvim ili drugim metodom trebalo da su jednake. One se međutim uvek razlikuju, a razlika je utoliko manja ukoliko se stvarni uslovi provođenja približuju teoriskim. Za izračunavanje upotrebljuju se samo prva dva talasa, jer je jedino u njima proces provođenja toplote dovoljno izražen i pored prigužujućih dejstva napred pomenutih činjenica.

Tablica 4 — Table 4

Koeficijent temperaturskog provođenja [K] = [cm²/sec]
The coefficient of temperature conductivity [K] cm²/sec]

sloj u cm layer in cm	K po amplitudi K computed from temp. range	K po fazi K computed from phase angle	srednjak mean
0-20	0,00257	0,00310	0,0029
0-50	0,00534	0,00366	0,0045
50-75	0,00385	0,00603	0,0049
50-100	0,00477	0,00570	0,0052
100-200	0,00383	0,00493	0,0044
200-300	0,00382	0,00498	0,0044

U tablici 4 date su vrednosti koeficijenta temperaturskog provođenja za nekoliko slojeva zemlje. Vrednosti su dobijene iz amplitude i faze godišnjih talasa. Koeficijenti, dobijeni iz polugodišnjeg talasa, nisu uneti u tablici, jer su se međusobno prilično rasipali. Prosečno uzevši, vidi se da su koeficijenti dobijeni iz pomaka faze nešto veći od onih koji su izračunati iz priraštaja amplitude. Srednja vrednost koeficijenta dobijenog iz amplitude iznosi 0,0040, a iz pomaka faze 0,0047. Gledano po slojevima, ova razlika ne prelazi 45% srednje vrednosti tog sloja ni kod najvećeg otstupanja. Srednjaci pojedinih slojeva ne razlikuju se mnogo jedni od drugih, sa izuzetkom srednjaka za sloj 0—20cm, pa bi se iz toga moglo zaključiti da je zemljište u kome su vršena merenja uglavnom homogenog sastava. Manja vrednost koeficijenta u sloju 0—20cm može se, delimično, objasniti prisustvom atmosferske vode tokom godine u ovom površinskom sloju, koje mora izazvati smanjenu temperatursku provodljivost u njemu, zbog vrlo male temperaturske provodljivosti vode. Prilično slaganje srednjaka u pojedinim slojevima dozvoljava da se za sve slojeve predloži neka srednja vrednost. Mislimo da bi se za srednju

vrednost mogla prihvatiti aritmetička sredina srednjaka pojedinih slojeva, koja iznosi 0,0044, pošto se ona razlikuje samo za 0,0001 od vrednosti koeficijenta temperaturskog provođenja upotrebljene prilikom određivanja konstanata u izrazima (2') i (3'). Time, što je predložena vrednost upotrebljena u izrazima (2') i (3'), koji su — kao što je napred bilo pokazano — dali zadovoljavajuće rezultate, može se smatrati da je ona na izvestan način i proverena. U prilog predloženoj vrednosti navedimo i to da ona ne otstupa od srednjih vrednosti koeficijenata u dva najdublja sloja, za koje se može pretpostaviti da prilično zadovoljavaju teoriske uslove; zbog toga se vrednosti koeficijenta ova dva sloja mogu smatrati kao tačni sa više sigurnosti.

Ipak nađene vrednosti za koeficijente temperaturskog provođenja treba oceniti samo kao grube srednje vrednosti, jer se oni ni u kom slučaju ne mogu tačno odrediti iz godišnjeg hoda temperature. Verovatno bi se iz izabranih dnevnih hodova pojedinih godišnjih doba mogle tačnije odrediti njihove vrednosti i naći granice u kojima kolebaju, naročito što se tiče viših, površinskih slojeva. Ovakva analiza morala je, međutim, da izostane, jer ispitivani niz nije imao časovna osmatranja.

Temperaturski gradijent. U tablici 5 date su vrednosti vertikalnog temperaturskog gradijenta za četiri sloja, izračunate iz godišnjeg hoda temperature. Znak gradijenta je izabran tako da pozitivnom temperaturskom gradijentu odgovara toplotna struja upravljena prema unutrašnjosti zemlje. Velike temperaturske gradijente možemo očekivati u slojevima sa manjom temperaturskom provodljivošću; zaista, oni se stvarno i javljaju u najvišem sloju, što se može videti iz priložene tablice. Prema dubljim slojevima bivaju manji i vrednosti i kolebanja temperaturskog gradijenta. Maksimalna vrednost gradijenta javlja se u površinskom sloju početkom juna, a minimalna, koja je po apsolutnoj vrednosti nešto veća, sredinom decembra. Maksimum je u najdubljem

Tablica 5 — Table 5

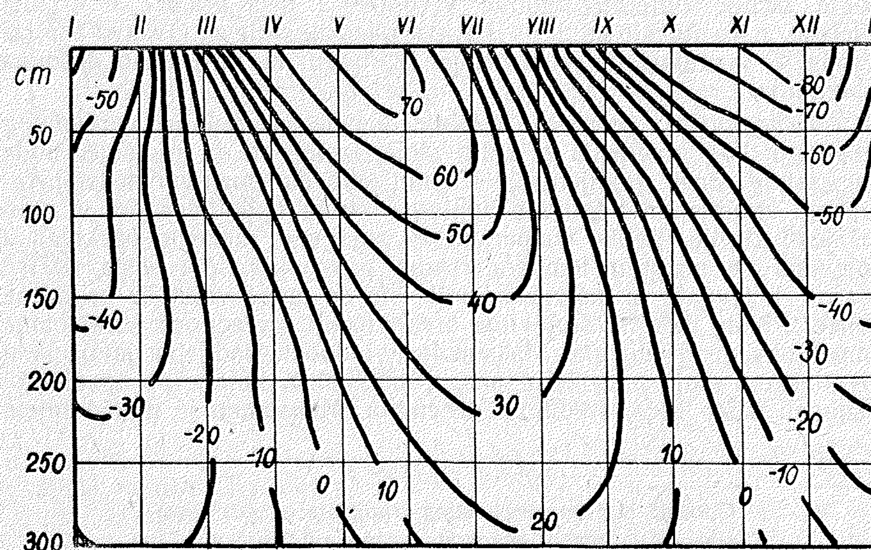
Godišnji hod temperaturskog gradijenta u 0,001°C/cm
The aanual course of temperature lapse rate in 0,001°C/cm

dubina u cm depth in cm	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	god. year	ampl. ampl.
2-50	-60	-42	4	50	69	75	56	12	-25	-60	-62	-81	-5	156
50-100	-46	-34	-2	14	48	56	60	36	10	-20	-44	-54	2	114
100-200	-43	-38	-20	-5	24	36	42	36	20	-1	-20	-39	-1	85
200-300	-23	-25	-21	-9	4	16	24	26	21	10	-2	-13	1	51

sloju pomaknut na sredinu avgusta, a minimum na sredinu februara,

pa u odnosu na najviši sloj oba zaostaju preko dva meseca. Njihove vrednosti su približno četvrtina onih vrednosti koje se ostvaruju u sloju 2—50 cm. Otstupanje maksimalnih i minimalnih gradijenata jednog sloja od srednje vrednosti tog sloja skoro je podjednako. Sa porastom dubine ova otstupanja eksponencijalno se smanjuju.

Na slici 6 prikazan je izopletama godišnji hod temperaturskog gradijenta. Možda ova slika jasnije ilustruje gore uočene činjenice, a nesumnjivo govori u prilog već konstatovane homogenosti tla, jer izoplete ne pokazuju ni u jednom sloju postojanje neke diskontinuitetne površine koja bi trebalo da se javi na granici dve različite vrste zemljišta. Na osnovu datih vrednosti, koje prikazuju samo srednja stanja u godišnjem hodu temperaturskog gradijenta, ne bi se smeli izvoditi neki iscrpniji zaključci o vrednostima koje bi temperaturski gradijent mogao da ima u kraćim vremenskim intervalima.

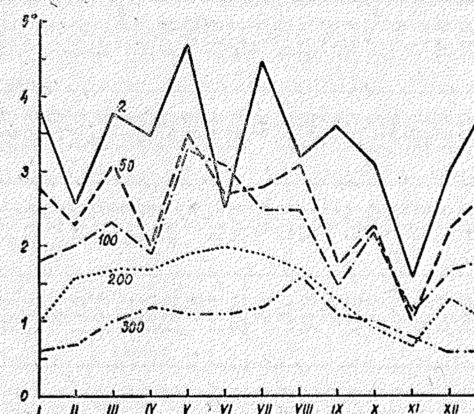


Sl. 6. Izoplete temperaturskog gradijenta u tlu
Fig. 6. Isopleths of temperature lapse rate in soil

Ekstremne vrednosti i kolebanja. Do sada je bilo reči samo o srednjim vrednostima. Da bi, međutim, prikaz godišnjeg hoda bio bar donekle potpun, potrebno je dati obaveštenja i o ekstremnim vrednostima koje su dostignute, odnosno o kolebanjima koja su se zbila u ispitivanom periodu. Ograničićemo se i dati ovde samo ekstremne srednje mesečne temperature tj. maksimalne i minimalne srednje mesečne vrednosti u ispitivanom periodu (tablica 6) i apsolutne ekstremne vrednosti (tablica 7). Ove poslednje treba da pruže sliku o granicama u kojima su se kretale temperature beogradskog

tla u periodu 1927—1940 g. Prilikom poređenja temperatura istog meseca na raznim dubinama treba imati u vidu da se ne radi o simultanim vrednostima; ekstremi se na pojedinim dubinama javljaju u raznim godinama.

Ekstremne mesečne vrednosti pokazuju u godišnjem hodu, posmatrano u glavnim crtama, iste one karakteristike koje su bile konstatovane i kod godišnjih hodova srednjih mesečnih vrednosti. Iz tog razloga mi ćemo se zadržati samo na razlikama između ekstremnih srednjih mesečnih i srednjih mesečnih vrednosti. Ako obrazujemo razlike između maksimalnih (M), odnosno minimalnih (m), srednjih mesečnih temperatura i srednjih mesečnih i grafički ih prikažemo (slika 7a i b), možemo lako izvršiti poređenje njihovih godišnjih hodova.



Sl. 7. Razlike između maksimalnih (7a) i minimalnih (7b) srednjih mesečnih temperatura i srednjih mesečnih na pojedinim dubinama u beogradskom tlu
Fig. 7. Differences between maxima (7a) and minima (7b) mean monthly temperature values and mean monthly values at certain depths in Belgrade soil

Ekstremne srednje mesečne temperature znatno više otstupaju od srednjih vrednosti u površinskim nego u dubljim slojevima. Svakako ovo je posledica eksponencijalnog opadanja amplitude sa dubinom. Otstupanje maksimalnih srednjih mesečnih temperatura od srednjih mesečnih, grubo uzevši, brojno je skoro isto kao i otstupanje minimalnih, ali ipak ova otstupanja pokazuju nešto različite godišnje hodove. Najmanje razlike između minimalnih srednjih mesečnih temperatura i srednjih mesečnih padaju na novembar za sve slojeve. Najveće razlike između njih javljaju se u martu u svim slojevima do 100 cm, na dubini od 200 cm u aprilu, a na 300 cm čak u maju. Dok se najmanje razlike između maksimalnih srednjih mesečnih temperatura i srednjih mesečnih vrednosti javljaju takođe u novembru za sve slojeve, dotle se najveće razlike između ovih temperatura prilično rasipaju:

Tablica 6 — Table 6

Ekstremne srednje mesečne temperature tla u Beogradu (period 1927—1940)

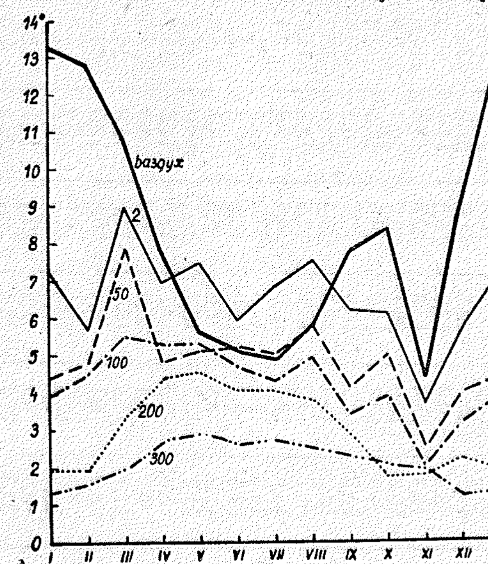
Extreme mean monthly values of soil temperature in Belgrade (period 1927—1940)

dubina u cm depth in cm		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	god. year
0	M.	5,1	3,5	11,1	16,9	22,0	26,5	29,9	27,0	23,0	17,7	9,6	4,4	14,2
	m.	-3,9	-2,4	1,7	9,3	15,8	19,2	22,0	19,2	15,4	9,0	5,0	-1,8	10,9
	k.	9,0	5,9	9,4	7,6	6,2	7,3	7,9	7,8	7,6	8,7	4,6	6,2	3,3
2	M.	4,2	3,4	9,6	15,8	23,6	25,8	30,0	26,4	22,0	15,5	8,7	4,4	13,5
	m.	-3,0	-2,3	0,6	8,9	16,1	19,9	23,2	18,9	15,8	9,4	5,0	-1,3	10,8
	k.	7,2	5,7	9,0	6,9	7,5	5,9	6,8	7,5	6,2	6,1	3,7	5,7	2,7
5	M.	4,4	3,6	9,8	16,2	22,7	25,9	28,0	25,7	22,3	16,3	9,1	4,7	13,8
	m.	-1,6	-2,0	0,1	9,1	15,8	20,1	23,4	19,0	16,0	9,7	5,3	-1,1	11,1
	k.	6,0	5,6	9,7	7,1	6,9	5,8	4,6	6,7	6,3	6,6	3,8	5,8	2,7
10	M.	4,3	3,2	9,5	15,8	22,1	25,7	27,3	25,3	22,7	16,4	9,2	4,7	13,5
	m.	-1,9	-1,7	-0,1	8,9	15,4	19,9	23,3	19,0	16,1	9,9	5,2	-1,0	11,0
	k.	6,2	4,9	9,6	6,9	6,7	5,8	4,0	6,3	6,6	6,5	4,0	5,7	2,5
25	M.	4,9	4,0	9,0	13,4	20,2	25,3	27,6	26,4	21,9	16,5	10,0	6,7	14,3
	m.	-0,9	-1,5	0,0	8,8	14,6	17,8	21,1	20,0	17,7	10,5	7 5	2,1	10,9
	k.	5,8	5,5	9,0	4,6	5,6	7,5	6,5	6,4	4,2	6,0	2,5	4,6	3,4
50	M.	5,7	4,9	8,5	12,4	19,0	22,3	25,4	25,3	21,5	17,3	11,3	7,6	14,2
	m.	1,3	0,1	0,6	7,6	13,9	17,1	20,4	19,6	17,4	12,3	8,8	3,6	11,2
	k.	4,4	4,8	7,9	4,7	5,1	5,2	5,0	5,7	4,1	5,0	2,5	4,0	3,0
75	M.	6,5	5,8	8,2	11,8	17,7	21,2	23,7	24,3	21,1	17,6	12,4	8,5	14,2
	m.	3,5	1,4	1,8	6,1	12,1	15,1	18,3	19,0	17,3	13,6	10,0	5,6	11,4
	k.	3,0	4,4	6,4	4,7	5,6	6,1	5,4	5,3	3,8	4,0	2,4	2,9	2,8
100	M.	7,3	6,5	8,0	11,1	16,5	20,0	22,3	23,3	20,9	18,5	13,6	10,0	14,0
	m.	3,4	2,0	2,5	5,8	11,2	15,3	18,0	18,4	17,5	14,6	11,6	6,8	11,5
	k.	3,9	4,5	5,5	5,3	5,3	4,7	4,3	4,9	3,4	3,9	2,0	3,2	2,5
200	M.	10,8	9,9	9,4	10,4	12,7	15,3	17,5	18,9	18,7	17,3	15,2	13,5	13,6
	m.	8,9	7,0	6,1	6,1	8,2	11,3	13,5	15,2	15,8	15,6	13,4	11,3	11,4
	k.	1,9	2,9	3,3	4,3	4,5	4,0	4,0	3,7	2,9	1,7	1,8	2,2	2,2
300	M.	12,7	11,5	10,8	10,8	11,5	12,8	14,4	16,2	16,5	16,4	15,5	14,1	12,9
	m.	11,4	10,0	8,9	8,1	8,6	10,2	11,7	13,2	14,2	14,4	13,6	12,9	11,6
	k.	1,3	1,5	1,9	2,7	2,9	2,6	2,7	3,0	2,3	2,0	1,9	1,2	1,8
vazduh air	M.	6,7	3,6	10,8	16,1	19,4	22,6	26,0	23,7	21,9	16,9	9,9	5,0	12,9
	m.	-6,6	-9,2	0,0	8,4	13,8	17,5	21,1	18,1	14,1	8,6	5,6	-4,1	9,7
	k.	13,3	12,8	10,8	7,7	5,6	5,1	4,9	5,8	7,8	8,3	4,3	9,1	3,2

M = maksimum - maximum; m = minimum - minimum; k = kolebanje - variation

u sloju do 100cm javljaju se u maju, na dubini od 200cm u junu, a na 300cm čak u avgustu. Karakteristično je da su u mesecu aprilu i maju otstupanja minimalnih srednjih mesečnih vrednosti od srednjih mesečnih veća na dubini od 200 i 300cm nego na dubini od 50 i 100cm. Kod otstupanja između maksimalnih i srednjih vrednosti ovako nešto ne postoji. Krive otstupanja na 200 i 300cm znatno su ravnomernije kod maksimalnih nego kod minimalnih srednjih mesečnih vrednosti, naročito ovo se odnosi na krivu otstupanja na 200cm. Iz ovoga bi se dalo zaključiti da niže temperature prodiru do ove dubine manje modifikovane od viših.

Kolebanja srednjih mesečnih temperatura po mesecima, tj. razlike između maksimalnih i minimalnih srednjih mesečnih vrednosti, prikazana su na slici 8. Kolebanja u sloju do 100cm pokazuju skoro isti godišnji hod, jedino se apsolutne vrednosti kolebanja smanjuju idući od površine ka dubljim slojevima. Kolebanja na dubini od 200 i 300cm takođe imaju približno isti hod, ali u odnosu na kolebanja gornjih slojeva pokazuju već znatna otstupanja. Najmanja kolebanja javljaju se u svim slojevima u novembru. Najveća kolebanja ostvaruju se u sloju do 100cm u martu, a u sloju od 100 do 300 cm u maju, pa izgleda da se ekstremne vrednosti godišnjeg hoda kolebanja slažu sa onima godišnjeg hoda otstupanja između srednjih mesečnih temperatura. Ako se uporede ekstremne vrednosti kolebanja u tlu i vazduhu može se zapaziti sledeće: kolebanja u tlu do dubine oko 75cm veća su od onih u vazduhu u toplom delu godine; u maju, junu, julu i avgustu ona su prosečno veća za 1,5—2,0°. U svim ostalim mesecima ostvaruju se u vazduhu veća kolebanja nego u zemlji na bilo kojoj dubini. Naročito su ova kolebanja vazduha u odnosu na tlo jako povećana u zimskim mesecima. Prilično izrazit sporedan maksimum kolebanja javi se u vazduhu između septembra i oktobra. U tlu on ne može da se uoči u ovo vreme ni na jednoj dubini. U sloju do 100cm javi se sporedni maksimum već u avgustu, a na većim dubinama on uopšte ne može više da se zapazi. Sporedni



Sl. 8. Kolebanja srednjih mesečnih temperatura u vazduhu i na pojedinim dubinama u beogradskom tlu

Fig. 8. Variations of mean monthly temperature values of air and at certain depths in Belgrade soil

Tablica 7 — Table 7

Apsolutne ekstremne temperature tla u Beogradu (period 1927—1940)

Apsolute extreme values of soil temperature in Belgrade (period 1927—1940)

dubina u cm depth in cm		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	god. year
0	M.	19,5	23,5	33,4	43,4	42,0	48,6	52,2	51,4	44,8	42,6	23,2	18,0	52,2
	m.	-10,7	-16,4	-6,4	-2,2	0,6	8,0	11,8	10,8	2,6	-0,8	-4,5	-8,5	-16,4
	k.	30,2	39,9	39,8	45,6	41,4	40,6	40,4	40,6	42,2	43,4	27,7	26,5	68,6
2	M.	12,5	21,6	22,4	35,0	41,4	46,2	50,2	47,2	38,7	29,1	19,1	12,0	50,2
	m.	-6,8	-6,4	-4,0	0,1	6,2	10,2	11,8	12,1	4,4	0,0	-0,4	-4,2	-6,8
	k.	20,3	28,0	26,4	34,9	35,2	36,0	38,4	35,1	33,3	29,1	19,5	16,2	57,0
5	M.	9,7	12,5	19,8	31,5	35,4	39,0	42,6	39,2	33,3	29,1	17,3	10,9	42,6
	m.	-5,0	-7,4	-2,9	0,4	5,8	10,4	12,1	12,7	4,6	2,0	-1,0	-4,6	-7,4
	k.	14,7	19,9	22,7	31,1	29,6	28,6	30,5	26,5	28,7	27,1	18,3	15,5	50,0
10	M.	8,9	10,2	17,3	27,6	32,1	37,4	37,5	36,1	31,1	26,0	16,0	10,3	37,5
	m.	-4,6	-6,6	-2,6	0,4	6,2	10,3	12,7	13,1	5,1	3,0	-0,3	-3,8	-6,6
	k.	13,5	16,8	19,9	27,2	25,9	27,1	24,8	23,0	26,0	23,0	16,3	14,1	44,1
25	M.	6,9	7,3	12,8	19,5	25,7	29,8	31,2	31,2	25,5	22,2	14,7	9,0	31,2
	m.	-2,8	-2,6	-0,5	3,4	9,9	13,9	18,5	17,4	10,9	7,9	2,8	-0,2	-2,8
	k.	9,7	9,9	13,3	16,1	15,8	15,9	12,7	13,8	14,6	14,3	11,9	9,2	34,0
50	M.	6,4	7,1	11,2	16,8	20,9	25,7	26,7	26,7	23,9	21,4	14,7	9,3	26,7
	m.	0,3	-0,3	0,2	1,0	10,7	14,8	18,6	18,5	13,3	10,4	5,3	2,0	-0,3
	k.	6,1	7,4	11,0	15,8	10,2	10,9	8,1	8,2	10,6	11,0	9,4	7,3	27,0
75	M.	7,1	7,3	10,5	15,3	19,4	23,6	25,5	25,6	23,9	20,1	15,1	10.5	25,6
	m.	1,8	0,6	0,6	1,7	9,2	13,6	17,0	18,3	14,5	11,7	7,4	3,7	0,6
	k.	5,3	6,7	9,9	13,6	10,2	13,0	8,5	7,3	9,4	8,4	7,7	6,8	25,0
100	M.	8,4	7,5	9,8	14,2	17,5	21,5	23,0	23,9	22,1	20,4	16,1	11,5	23,9
	m.	2,5	1,3	2,0	2,3	8,7	13,9	16,5	17,8	16,8	12,8	9,2	5,0	1,3
	k.	5,9	6,2	7,8	11,9	8,8	7,6	6,5	6,1	5,3	7,6	6,9	6,5	22,6
200	M.	12,5	10,3	9,7	11,1	13,3	15,7	18.5	18,9	18,7	18,0	16.4	14,2	18,9
	m.	8,0	6,8	5,8	5,6	7,2	10,1	12,5	14,6	15,7	14,8	12.2	9,9	5,6
	k.	4,5	3,5	3,9	5,5	5,1	5,6	6,0	4,3	3,0	3,2	4,2	4,3	13,3
300	M.	13,4	12,2	11,3	11,1	11,9	13,1	14,6	15,8	16,3	16,2	15,9	14,9	16,3
	m.	10,7	9,4	8,4	8,0	8,1	9,4	10,8	12,5	13,8	14,4	12,9	12,2	8,0
	k.	2,7	2,8	2,9	3,1	3,8	3,7	3,8	3,3	2,5	1,8	3,0	2,7	8,3
vazduh air	M.	18,5	19,1	25,6	30,8	32,4	35,9	38,2	38,6	35,1	34,2	22,3	18,8	38,6
	m.	-18,9	-23,6	-14,1	-3,0	4,7	7,2	12,1	10,1	3,1	1,1	-4,0	-18,2	-23,6
	k.	37,4	42,7	39,7	33,8	27,7	28,7	26,1	28,5	32,0	33,1	26,3	37,0	62,2

M = maksimum - maximum — m = minimum - minimum — k = kolebanje - variation

minimum kolebanja pada na februar u površinskim slojevima, dakle, u vreme kada se ostvaruje najveća razlika u kolebanju između ekstremnih mesečnih temperatura vazduha i površinskih slojeva tla, koja je verovatno posledica zaštitnog delovanja snežnog pokrivača.

U tablici 7 date su apsolutne maskimalne i minimalne temperature zabeležene u ispitivanom periodu. Na dubinama gde su vršena tri osmatranja one su određene iz terminskih vrednosti. Da se raspolagalo časovnim osmatranjima, verovatno bi se dobile veće vrednosti.

Godišnji hodovi apsolutnih ekstremnih vrednosti pokazuju na svim dubinama iste one karakteristike koje su bile uočene i kod godišnjih hodova srednjih vrednosti. Opadanje amplitude sa dubinom vrši se i kod apsolutnih ekstremnih vrednosti po eksponencijalnoj krivoj, a pomicanje vremena pojave ekstremnih vrednosti sleduje zakašnjavanja srednjih vrednosti: maksimum se sa površine do dubine od 300cm premesti od sredine jula na kraj septembra, a minimum od sredine februara na drugu polovinu aprila. Pojmljivo je da se pri poređenju ove dve glavne karakteristike godišnjih hodova dveju različitih vrsta temperatura javljaju i male razlike. One se naročito zapažaju kod pomicanja vremena pojave minimuma u sloju do 100 cm, u kome se minimum javlja čas u januaru čas u februaru bez obzira na porast dubine.

Iz tablice 7 vidi se da su se temperature u ispitivanom periodu kretale u intervalu od 68,6°C. Gornja granica intervala iznosila je 52,2°, a donja -16.4°C. I jedna i druga granica ostvarena je na po-

Tablica 8 — Table 8

Srednje trajanje određenih stepena temperature

Mean duration of temperature above certain thresholds

dubina u cm depth in cm	t ⩾ 5°			t ⩾ 10°			t ⩾ 15°			t ⩾ 20°		
	prvi datum first date	poslednji datum last date	trajanje duration	prvi datum first date	poslednji datum last date	trajanje duration	prvi datum first date	poslednji datum last date	trajanje duration	prvi datum first date	poslednji datum last date	trajanje duration
2	13-III	26-XI	259	5-IV	29-X	207	27-IV	2-X	158	23-V	7-IX	107
50	11-III	22-XII	287	15-IV	17-XI	216	13-V	18-X	158	17-VI	14-IX	90
100	4-III	25-I	327	21-IV	4-XII	227	30-V	27-X	150	18-VII	9-IX	65
200	—	—	365	5-V	12-I	252	25-VI	9 XI	137	—	—	—
300	—	—	365	12-V	8-III	300	30-VIII	3-XI	66	—	—	—

vršini (0cm). Dok je odnos između amplituda na 0 i 300cm iznosio kod srednjih mesečnih temperatura svega 4,2, dotle taj isti odnos kod apsolutnih ekstremnih temperatura iznosi 8,3. Amplituda na 0cm kod apsolutnih ekstremnih vrednosti veća je skoro tri puta od amplitude srednjih mesečnih vrednosti na istoj dubini. Na dubini od 300cm razlika između amplituda ovih dveju temperatura iznosi svega 2,5°C.

Početak, prestanak i trajanje određenih temperatura i mraza u tlu. Na kraju ovog prikaza godišnjeg hoda temperature tla želimo da se dotaknemo i pitanja prvih i poslednjih datuma pojave određenih temperatura na pojedinim dubinama, odnosno srednjih vrednosti njihovog trajanja (tablica 8) i istih podataka o mrazu u tlu (tablica 9). U tablici 8 dati su srednji datumi kao i srednja trajanja temperature u intervalima od po pet stepeni. Vrednosti su određene iz grafika godišnjih hodova teperature, a ne kao što je uobičajeno iz dnevnih srednjaka. Pošto je ispitivani period ipak srazmerno kratak, verovatno postoje razlike između dobijenih vrednosti i onih koje bi se dobile iz dnevnth srednjaka, ali su one praktično zanemarljive. Granicu od $t \geqslant 0^0$ nismo uzeli u obzir, jer je dnevni srednjak temperature u površinskom sloju jako uplivisan visokim pozitivnim temperaturama merenim u 14 časova. Za dubinu od 50cm lako je odrediti trajanje temperaturske stepenice $t \geqslant 0^0$C, pošto se u ispitivanom periodu temperatura spustila ispod 0°C na ovoj dubini samo u jednoj, i to neobično oštroj zimi 1928/29. Grubo ocenjeno, temperature se u sloju

Tablica 9 — Table 9

Podaci o mrazu u tlu

Data from frost in soil

dubina u cm / depth in cm	srednji datum prvog mraza / mean date of first date with frost	srednji datum poslednjeg mraza / mean date of last day with frost	srednje trajanje bezmraznog perioda / mean duration of period without frost	srednji broj dana sa mrazom / mean numbers of days with frost	ekstremni datum prvog mraza / extreme date of first day with frost	ekstremni datum poslednjeg mraza / extreme date of last day with frost
0	9-XI	26-III	228	84	13-X	19-IV
2	3-XII	8-III	271	54	16-XI	29-III
5	24-XII	26-II	301	37	30-XI	29-III
10	31-XII	25 II	309	36	30-XI	29-III
25	(7-I)	(19-I)	353	(11)	10-I	16-III
50					3-II	3-III

do 50cm spuštaju ispod 5°C u toku preko tri meseca. U tablici u kojoj su dati podaci o mrazu mogu se naći brojne vrednosti koje uglavnom karakterišu temperatursku stepenicu $t \geqslant -5^0$; kako su dnevni srednjaci vrlo retko niži od ove vrednosti nismo smatrali da ih je potrebno posebno analizirati. Visoke srednje dnevne temperature, one preko 25°, javljaju se jedino u površinskom sloju u julu, i njihovo trajanje ne prelazi mesec dana.

Tablica 9 daje podatke o mrazu u tlu. U njoj su uneti oni podaci koji u dovoljnoj meri karakterišu pojavu mraza na svim dubinama na kojima se on javio u ispitivanom periodu. U mrazne dane ubrojeni su oni dani u kojima je temperatura u nekom od tri termina osmatranja bila ispod 0,0°C. Ovako definisan mrazni dan razlikuje se nešto od mraznog dana usvojenog u klimatološkoj statistici, u kojoj se on definiše kao dan u kome je minimalna temperatura vazduha bila ispod 0,0°C, a ovde je gornja definicija mraznog dana usvojena iz razloga, što nije bilo zgodnijeg načina da se obradi pitanje prodiranja negativnih temperatura u tlo.

Srednje vrednosti na dubini od 25cm stavljene su u zagrade, jer se mraz na ovoj dubini javio u ispitivanom periodu svega četiri puta, a one su bile određene na taj način, što je, u godinama kada nije bilo mraza, za datum, odn. odgovarajući dan u godini prvog i poslednjeg mraza uzimana vrednost 0. Zbog toga se na ovoj dubini ekstremni datum prvog mraza javlja tri dana iza srednje vrednosti. Do dubine od 50cm mraz je dopro samo u toku zime 1928/29. Temperature su bile ispod 0,0°C u vremenu od 3-II do 3-III-1929, ali se nisu spustile ispod —0,5°C. Stvarni broj dana sa mrazom iznosio je te zime na ovoj dubini 27 dana. Preko cele ove zime temperatura je ostala iznad 0,0°C na dubini od 60cm. Pošto je zima 1928/29 bila najhladnija u periodu 1927—1940, to se kao donja granica prodiranja mraza u beogradskom tlu može sa prilično sigurnosti uzeti dubina od 60cm.

Zaključak. Iz prilično obimnog osmatračkog materijala temperatura tla u periodu 1927—1940 g. izdvojili smo i dali u ovom prikazu neke brojne vrednosti i veličine za koje smo smatrali da mogu poslužiti kao prilog poznavanju godišnjeg hoda toplotnih prilika u beogradskom tlu, a eventualno i neposredno koristiti praksi. Želimo na kraju da istaknemo da su sve one karakteristike godišnjeg hoda temperatura tla u Beogradu, koje je konstatovao Vujević [3, str. 127—137] na osnovu petogodišnjeg niza merenja u periodu 1902—1906, bile potvrđene i na osnovu podataka ovog niza, ukoliko su i ovde bile analizirane. Prirodno je, da se brojne vrednosti iz ova dva perioda nešto razlikuju, ali ove razlike niukoliko ne menjaju glavne crte pa čak ni detalje karakteristika konstatovanih i objašnjenih pre pola veka.

LITERATURA

1 Milan Nedelkovitch: Bulletin mensuel de l'Observatoire central de Belgrade. Anneée 1902, 1903, 1904 i 1905. Belgrade.

2 Vujević P.: Die Temperaturverhältnisse der untersten Luftschichten. Sitzungsber. der kaiserl. Akademie der Wissenschaften in Wien. Mathem. - naturw. Klasse; Bd. CXVIII. Abt. IIa. Juli, 1909.

3 Vujević Dr. P.: Temperature tla u Beogradu. Glas Srpske Kr. Akademije Nauka LXXIX. Prvi razred 32. Beograd. 1909.

4 Vujević P.: Die Temperaturen verschiedenartigen Bodenoberflächen Meteorologische Zeitschrift. Band 29, Heft 12. 1912.

5 Radošević M.: Doprinos beogradske Meteorološke opservatorije mikroklimatologiji. Hidrometeorološki glasnik. God. I, br. 2, str. 67. Beograd. 1948.

6 Woeikof A.: Probleme der Bodentemperatur. Typen ihrer vertikalen Verbreitung. Verhältniss zur Lufttemperatur. Meteorologische Zeitschrift. 1904. str. 52.

Borivoje N. Dobrilović

Summary

THE ANNUAL COURSE OF SOIL TEMPERATURE IN BELGRADE (period 1927—1940)

In the beginning of this century (1901) the measuring of soil temperature was inaugurated at the Meteorological Observatory in Belgrade. The two world wars brought interruptions in this series of measurements. The first interruptions occured in 1914—1926, and the second in 1941—1946, with the result that, in effect, three separate series of measurements became available, since the series differ in the mode of thermometer positioning and the method of observation, together with some other depths of making tho measurements. The principal characteristics of the annual course of the temperature of soil in Belgrade had been given by Vujević [3, p. 127—179] on the basis of a five-year series of measurements in the period 1902—1906. Here we wish to present the results of the measurements made in the period 1927—1940 and to add a few new points which, we believe, can serve as a contribution to a more detailed knowledge of the annual course of the soil temperature in Belgrade.

The measurements down to a depth of 30cm were made with thermometers sunk directly into the soil, and at greater depths with the aid of thermometers placed in two Lamont-type boxes. The thermometers down to a depth of 75cm were read off at three climatological hours of observation (7, 14 and 21 hrs. local time), and at greater depths at 7 hrs. only. The soil on which measurements were made belongs to fertile soil.

In Table 1 are given the mean monthly and annual values of temperatures, as well as the annual temperature ranges for all the depths at which the measurements were made. On the basis of these values, in Figures 1, 2 and 3 is presented the annual course in three customary ways: through temperature curves, tautochrones and isopleths (geotherms). For a more detailed analysis of the annual course, a harmonic analysis was made of the resultats of measurements; on the basis of this, in Table 2 are given, for all the depths, the coefficients of the trigonometric polynome, as expressed by the equation (1), on the basis of whose first members were found the analytical expressions for the change of the annual temperature range, equation (2), and the shifting of the phase times of the extreme values, equation (3'), with the depth in Belgrade soil. In these equations, A_z stands for the temperature range at depth z, and φ_z and φ'_z for the times of the maximum and minimum occurrence computed in the angular measure. The agreeing of the actually observed temperature ranges, those obtained by means of harmonic analysis and computed according to the equation (2'), is shown in the tabular survey on p. 12. In Table 3 are given the values pertaining to the

times of the occurrence of the maxima and minima, as obtained from Fig. 1, the harmonic analysis and the equation (3'), expressed in the angular measure and the corresponding date respectively. Table 3 indicates that there is considerable agreement between the values obtained through these three different methods. In Fig. 4 is shown the change of temperature range with depth, and in Fig. 5 the occurrence of the maximum at the different depths.

The values of the coefficients of temperature conductivity, computed from the logarithmic growth of temperature range and the linear change of phase, are presented in Table 4. In Table 5 are offered the values of temperature lapse rate, whose annual course is shown by isopleths in Fig. 6. To the positive temperature lapse rate corresponds the heat current directed toward the interior of the earth. Fig. 6 is indicative of the fairly homogeneous composition of the soil in which the measurements had been made.

The extreme mean monthly values are given in Table 6, and the absolute extreme values in Table 7, which indicates that the temperatures of the Belgrade soil had ranged from 52,2°C to - 16,4°C. Mean duration of the temperatures above certain thresholds are stated in Table 8, and the data on frost in table 9. It is characteristic that the zero isotherm had never dropped to a depth of 60cm even though this period had been marked by two very severe winters, in 1928/29 and 1939/40, so that the depth of 60cm can fairly safely be taken as the botton limit of frost penetration.

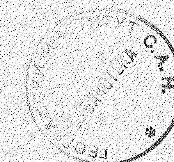
In the appendix are given three tables with the values of temperature at the hours of observation, analogous with Tables 1, 6 and 7.

Prilog — Appendix

Tablica I — Table I

Terminske srednje mesečne temperature tla u Beogradu (period 1927—1940)
Mean mothly values of soil temperature at hours of observations in Belgrade (period 1927—1940)

dubina u cm depth in cm	0			2			5			10			25			50			vazduh — ai		
mesec — month	7h	14h	21h	7h	14h	21h	7h	14h	21h	7h	14h	21h	7h	14h	21h	7h	14h	21h	7h	14h	21h
I	-1,2	2.7	-0,6	-0,2	1,2	0,2	0,2	1,1	0,6	0,3	0,9	0,6	1,8	1,7	1,8	3,0	3,0	3,0	-1,7	1,7	-0,7
II	-1,4	5,2	-0,3	-0,3	2,1	0,7	0,3	1,9	1,0	0,4	1,4	1,1	1.6	1,4	1.8	2,5	2,5	2,5	-1,8	3,2	-0,1
III	2,6	13,8	3,7	3,2	9,3	4,8	3,8	8,5	6,0	4,1	7,3	5,9	5,5	5,2	5,7	5,3	5,4	5,4	3,7	10,1	5,8
IV	9,1	21,7	8,6	8,8	17,3	10,9	9,0	16,4	12,0	9,4	14,7	12,5	11,0	10,4	10,6	10,4	10,3	10,3	9,3	15,8	11,0
V	15.6	26,5	13,8	14,9	24,6	16,5	14,8	23,6	17,9	15,0	21,8	18,5	16,2	15,7	16.5	15,4	15,4	15,3	14,9	21,0	15,7
VI	19,6	32,0	17,9	18,2	30,4	20,8	18,9	28,4	22.4	19,1	26,4	23,2	20,4	19,8	20,8	19,5	19,5	19,4	18,6	23,8	19,5
VII	21,5	36,0	19,8	20,6	33,6	22,8	20,8	31,5	24,2	21,2	28,7	25,3	23,1	22,4	23,4	22,5	22,5	22,4	20,4	27,8	22,0
VIII	18,6	33,4	19,8	18,7	29,9	21,2	19,1	28,4	22,7	19,7	26,9	23,6	22,5	21,8	22,8	22,4	22,3	22,3	18,6	26,7	20,4
IX	14,1	28,8	14,6	14,6	23,7	16,8	15.3	23,0	18,3	16,0	21,8	19,3	19,1	18.6	19,2	19,7	19,6	19,5	15,0	23,2	16,8
X	10,9	19,3	9,9	9,8	15,8	11,4	10,4	15,6	12,2	11,0	14,8	12,1	14,1	13,6	14,0	15,1	15,0	14,9	10,1	17,1	11,8
XI	4,7	11.4	5,6	5,6	9,2	6,6	6,2	9,0	7,2	6,6	8,5	7,6	9,2	8,9	9,1	10,4	10,3	10,3	5,9	10,5	7,1
XII	0,2	3,5	0,8	1,3	2,7	1,7	1,8	2,8	2,1	2,0	2,7	2,3	4,1	4,0	4,0	5,5	5,5	5,4	0,0	2,9	0,8



Tablica II — Table II

Terminske ekstremne srednje mesečne temperature tla u Beogradu (period 1927—1940)
Extreme mean monthly values of soil temperature at hours of observation in Belgrade (period 1927—1940)

dubina u cm / depth in cm		0			2			5			10			25			50			vazduh — air		
mesec — month		7h	14h	21h	7h	14h	21h	7h	14h	21h	7h	14h	21h	7h	14h	21h	7h	14h	21h	7h	14h	21h
I	M.	2,3	10,0	3,1	2,8	6,2	3,6	3,3	5,7	4,3	3,2	5,2	4,4	4,9	4,7	5,1	5,7	5,7	5,7	5,2	9,6	5,9
	m.	-4,5	-2,9	-4,3	-1,8	-1,4	-1,6	-2,1	-1,8	-1,9	-2,1	-1,8	-1,9	-0,9	-0,9	-0,9	1,3	1,3	1,2	-7,7	-5,2	-6,8
	k.	6,8	12,9	7,4	4,6	7,6	5,2	5,4	7,5	6,2	5,3	7,0	6,3	5,8	5,6	6,0	4,4	4,4	4,5	12,9	14,8	12,7
II	M.	0,8	8,3	1,7	2,0	5,0	3,1	2,7	4,6	3,6	2,2	4,0	3,3	4,0	3,8	4,1	4,9	4,9	4,9	1,6	6,8	3,0
	m.	-4,2	-2,0	-3,2	-2,6	-2,1	-2,1	-2,3	-1,8	-1,9	-1,8	-1,6	-1,6	-1,4	-1,3	-1,3	0,1	0,1	0,1	-11,2	-6,7	-9,5
	k.	5,0	10,3	4,9	4,6	7,1	5,1	5,0	6,4	5,5	4,0	5,6	4,9	5,4	5,1	5,4	4,8	4,8	4,8	12,8	13,5	12,5
III	M.	6,1	20,0	7,3	6,8	14,5	8,8	7,1	13,5	12,6	7,8	12,0	10,0	9,0	8,6	9,4	8,5	8,5	8,5	8,0	15,3	10,0
	m.	-0,8	2,7	-0,2	-0,6	1,0	0,0	-0,4	0,5	0,1	-0,4	0,1	-0,1	0.0	0,0	0,0	0,6	0,6	0,6	-1,5	2,3	-0,3
	k.	6,9	17,3	7,5	7,4	13,5	8,8	7,5	13,0	12,5	8,2	12,1	10,1	9,0	8,6	9,4	7,9	7,9	7,9	9,5	13,0	10,3
IV	M.	11,5	28,3	11,3	11,6	21,9	13,8	11,4	21,9	15,2	11,8	19,4	16,1	13,5	13,2	13,4	12,4	12,4	12,4	13,1	20,8	15,2
	m.	5,2	15,7	6,1	5,3	13,3	7,4	6,0	12,5	8,7	6,5	11,0	9,1	8,0	6,9	8,0	7,8	7,6	7,8	5,9	12,2	7,7
	k.	6,3	12,6	5,2	6.3	8,6	6,4	5,4	9,4	6,5	5,3	8,4	7,0	5,5	6,3	5,4	4,6	4,8	4,6	7,2	8,6	7,5
V	M.	19,2	31,7	16,5	18,5	33,6	19,9	17,3	30,0	21,3	17,1	27,1	22,0	19,1	18,6	20,2	18,5	18,4	18,5	16,8	24,2	18,5
	m.	12,3	22,9	11,1	12,6	20,7	12,1	12,5	20,0	14,5	12,3	18,9	15,0	14,3	13,1	14,4	13,9	13,8	13,9	12,5	17,3	12,6
	k.	6,9	8,8	5,4	5,9	12,9	7,8	4,8	10,0	6,8	4,8	8,2	7,0	4,8	5,5	5,8	4,6	4,6	4,6	4,3	6,9	5,9
VI	M.	23,9	37,6	20,5	21,4	34,9	24,0	20,8	33,4	25,7	20,6	30,6	26,1	24,3	23,6	25,3	22,6	22,5	22,4	20,5	27,7	21,9
	m.	16,3	25,7	15,5	16,7	25,7	17,1	16,2	25,0	19,1	16,4	23,4	20,0	18,0	17,6	18,0	17,1	17,1	17,0	16,0	21,7	16,2
	k.	7,6	11,9	5,0	4.7	9,2	6,9	4,6	8,4	6,6	4,2	7,2	6,1	6,3	6,0	7,3	5,5	5,4	5,4	4,5	6,0	5,7
VII	M.	26,2	46,3	22,4	23,2	44,7	25,3	23,0	35,5	26,7	22,8	33,2	27,5	26,7	26,0	28,1	25,0	24,9	24,8	22,6	31,5	25,2
	m.	17,3	30,5	18,1	17,9	30,4	21,1	18,1	28,9	21,5	18,9	27,0	23,1	21,3	20,2	21,1	20,4	20,4	20,4	18,4	25,6	20,2
	k.	8,9	15,8	4,3	5,3	14,3	4,2	4,9	6,6	5,2	3,9	6,2	4,4	5,4	5,8	7,0	4,6	4,5	4,4	4,2	5,9	5,0
VIII	M.	22,1	42,2	21,1	20,1	37,4	24,3	20,4	31,9	25,2	20,8	29,9	25,7	25,7	24,1	27,0	24,8	24,7	25,0	19,9	29,9	22,5
	m.	15,6	26,7	15,2	15,9	25,1	17,3	17,2	22,4	18,6	16,4	21,3	18,8	20,0	19,5	20,4	19,7	19,7	19,6	15,7	22,9	16,9
	k.	6,5	15,5	5,9	4,2	12,3	7,0	3,2	9,5	6,6	4,4	8,6	6,9	5,7	4,6	6,6	5,1	5,0	5,4	4,2	7,0	5,6
IX	M.	16,4	34,9	17,9	16,5	29,7	19,8	17,6	27,8	21,7	18,6	26,8	22,8	22,1	21,5	22,2	21,5	21,5	21,4	18,3	27,8	20,8
	m.	11,8	22,1	12,3	12,1	20,0	14,1	12,7	19,2	15,4	13,1	18,3	16,2	17,4	17,0	17,3	17,5	17,4	17,3	12,4	17,7	13,1
	k.	4,6	12.8	5,6	4,4	9,7	5,7	4,9	8 6	6,3	5,5	8,5	6,6	4,7	4,5	4,9	4,0	4,1	4,1	5,9	10,1	7,7
X	M.	11,4	28,8	12,7	12,0	20,2	14,3	13,0	20,3	15,7	13,4	19,5	16,3	16,6	16,1	16,9	17,2	17,1	17,0	13,3	22,2	16,1
	m.	5,9	14,3	6,8	7,2	12,4	8,6	7,7	12,2	9,4	8,6	11,0	10,2	10,5	10,3	10,7	12,4	12,3	12,2	6,5	12,0	7,9
	k.	5,5	14,5	5,9	4,8	7,8	5,7	5,3	8,1	6,3	4,6	8,5	6,1	6,1	5,8	6,2	4,8	4,8	4,8	6,8	10,2	8,2
XI	M.	6,5	17,3	7,7	7,3	11,2	7,9	7,9	10,8	9,0	8,2	10,2	9,3	10,7	10,2	10,8	11,6	11,5	11,5	7,6	14,0	9,2
	m.	2,4	8,5	3,4	3,4	6,9	4,4	3,9	6,6	5.0	4,2	6,4	5,3	7,6	7,3	7,5	9,2	9,1	9,0	3,9	8,3	5,1
	k.	4,1	8,8	4,3	3,9	4,3	3,5	4,0	4,2	4,0	4,0	3,8	4,0	4,1	2,9	3,3	2,4	2,4	2,5	3,7	5,7	4,1
XII	M	2,7	7,0	3,4	3,1	6,4	3,8	3,6	6,2	4,4	3,8	5,8	4,6	6,7	6.7	6,6	7,6	7,6	7,6	3,9	6,7	4,6
	m.	-2,5	-1,0	-2,0	-1,6	-0,9	-1,4	-1,4	-0,9	-1,1	-1,2	-1,0	-1,0	2,1	2,1	2,0	3,7	3,6	3,5	-5,1	-2,6	-4,3
	k.	5,2	8,0	6,4	4,7	7,3	5,2	5,0	7,1	5,5	5.0	6,8	5,6	4,6	4,6	4,6	3,9	4,0	4,1	9,0	9,3	8,9

M = maksimum - maximum; m = minimum - minimum; k = kolebanje - varjation

Tablica III — Table III

Terminske apsolutne ekstremne temperature tla u Beogradu (period 1927—1940)
Absolute extreme values of soil temparature at hours of observation in Belgrade (period 1927—1940)

dubina u cm / depth in cm		0			2			5			10			25			50			75			vazduh — air		
mesec — month		7h	14h	21h	7h	14h	21h	7h	14h	21h	7h	14h	21h	7h	14h	21h	7h	14h	21h	7h	14h	21h	7h	14h	21h
I	M.	9,8	19,5	9,8	6,7	12,5	7,4	6,9	9,7	7,6	6,8	8,9	7,6	6,8	6,7	6,9	6,4	6,4	6,4	7,1	6,9	7,1	12,7	18,5	13,1
	m.	-10,7	-6,6	-8,9	-5,3	-3,8	-6,8	-4,8	-3,3	-5,0	-4,6	-3,6	-4,4	-2,7	-2,8	-2,5	0,3	0,3	0,3	1,8	1,8	1,8	-18,9	-13,5	-15,3
	k.	20,5	26,1	18,7	12,0	16,3	14,2	11,7	13,0	12,6	11,4	12,5	12,0	9,5	9,5	9,4	6,1	6,1	6,1	5,3	5,1	5,3	31,6	32,0	28,4
II	M.	9,1	23,5	10,2	9,1	21,6	10,2	6,9	12,5	8,8	6,9	10,2	9,3	7,3	7,1	7,2	7,1	7,1	7,1	7,3	7,2	7,2	10,8	19,1	12,7
	m.	-16,4	-7,6	-8,0	-6,2	-5,2	-6,4	-7,4	-4,6	-5,6	-6,6	-3,8	-4,6	-2,6	-2,6	-2,5	-0,3	-0,3	-0,3	0,6	0,6	0,6	-23,6	-19,8	-23,1
	k.	25,5	31,1	18,2	15,3	26,8	16,6	14,3	17,1	14,4	13,5	14,0	13,9	9,9	9,7	9,7	7,4	7,4	7,4	6,7	6,6	6,6	34,4	38,9	35,8
III	M.	15,2	33,4	18,4	11,8	22,4	15,6	11,6	19,8	14,1	11,3	17,3	13,3	12,6	12,2	12,8	11,2	11,1	11,1	10,5	10,5	10,4	18,9	25,6	23,4
	m.	-5,8	-1,8	-6,4	-4,0	-1,2	-3,4	-2,9	-1,3	-2,0	-2,6	-1,7	-1,8	-0,4	-0,5	-0,4	0,2	0,2	0,2	0,6	0,6	0,6	-14,1	-6,0	-9,2
	k.	21,0	35,2	24,8	15,8	23,6	19,0	14,5	21,1	16,1	13,9	19,0	15,1	13,0	12,7	13,2	11,0	10,9	10,9	9,9	9,9	9,8	33,0	31,6	32,6
IV	M.	18,4	43,4	20,2	17,0	35,0	19,2	16,3	31,5	20,5	16,7	27,6	24,2	17,1	18,0	19,5	16,8	16,7	16,7	15,3	15,3	15,3	20,9	30,8	23,3
	m.	-0,7	0,4	-2,2	0,1	1,2	0,2	0,4	2,0	0,4	1,2	2,6	0,4	3,4	3,3	3,3	1,0	1,1	1,2	1,7	1,7	1,7	3,0	0,2	-1,0
	k.	29,1	43,0	22,4	16,9	33,8	19,0	15,9	29,5	20,1	15,5	25,0	23,8	13,7	14,7	16,2	15,8	15,6	15,5	13,6	13,6	13,6	23,9	30,6	24,3
V	M.	27,0	42,0	22,2	25,8	41,4	26,1	20,6	35,4	27,6	21,1	32,1	27,8	24,2	23,4	25,7	20,9	20,8	20,7	19,4	19,4	19,4	23,3	32,4	24,9
	m.	3,6	9,2	0,6	6,4	9,9	6,2	5,8	10,2	8,1	6,2	11,0	8,8	10,0	9,9	10,2	10,8	10,8	10,7	9,2	9,3	9,4	4,7	6,6	4,7
	k.	23,4	32,8	21,6	19,4	31,5	19,9	14,8	25,2	19,5	14,9	21,1	19,0	12,2	13,5	15,5	10,1	10,0	10,0	10,2	10,1	10,0	18,6	25,8	20,2
VI	M.	34,8	48,6	27,0	26,2	46,2	29,3	27,6	39,0	37,4	25,4	37,4	30,6	27,8	26,8	29,8	25,7	25,7	25,6	23,6	23,6	23,6	26,8	35,9	27,8
	m.	11,2	12,4	8,0	10,2	15,2	10,2	10,4	16,1	12,8	10,3	16,0	13,4	14,0	13,9	14,2	14,8	14,8	14,8	13,6	13,7	13,7	7,7	11,8	7,2
	k.	23,6	36,2	19,0	16,0	31,0	19,1	17,2	22,9	24,6	15,1	21,4	17,2	13,8	12,9	15,6	10,9	10,9	10,8	10,0	9,9	9,9	19,1	24,1	20,6
VII	M.	35,5	52,2	29,4	27,3	50,2	30,3	26,9	42,6	31,8	26,4	37,5	32,1	29,7	29,2	31,2	26,7	26,6	26,5	25,5	25,5	25,5	28,6	38,2	31,5
	m.	11,8	15,0	12,3	11,8	17,2	14,3	12,1	18,7	16,2	12,7	19,8	17,7	18,6	18,5	19,1	18,1	18,6	18,2	17,0	17,1	17,0	12,1	13,0	12,7
	k.	23,7	37,2	17,1	15,5	33,0	16,0	14,8	23,9	15,6	13,7	17,7	14,4	11,1	10,7	12,1	8,6	8,0	8,3	8,5	8,4	8,5	16,5	25,2	18,8
VIII	M.	29,0	51,4	28,8	25,0	47,2	30,0	25,0	39,2	31,4	25,2	36,1	31,8	29,2	28,6	31,2	26,7	26,5	26,4	25,6	25,6	25,6	26,0	38,6	30,1
	m	11,5	14,0	10,8	12,1	14,3	13,7	12,7	16,3	15,3	13,1	15,9	15,2	18,0	17,4	18,0	18,6	18,6	18,5	18,3	18,3	18,3	10,1	13,4	11,8
	k.	17,5	37,4	18,0	12,9	32,9	16,3	12,3	22,9	16,1	12,1	20,2	16,6	11,2	11,2	13,2	8,1	7,9	7,9	7,3	7,3	7,3	15,9	25,2	18,3
IX	M.	24,2	44,8	24,3	21,1	38,7	24,4	21,6	33,3	25,7	22,2	31,1	26,5	24,2	23,7	25,5	23,9	23,9	23,9	23,9	23,9	23,9	24,6	35,1	26,8
	m.	2,6	6,4	3,2	4,4	7,7	6,7	4,6	8,2	7,9	5,1	8,3	8,7	11,4	10,9	11,4	13,4	13,4	13,3	14,6	14,5	14,5	3,1	6,4	4,2
	k.	23,6	40,4	21,1	16,7	31,0	17,7	17,0	25,1	17,8	17,1	22,8	17,8	12,8	12,8	14,1	10,5	10,5	10,6	9,3	9,4	9,4	21,5	28,7	22,6
X	M.	20,5	42,6	20,4	18,8	29,1	20,8	19,0	29,1	21,1	19,4	26,0	22,8	22,2	21,5	22,1	21,4	21,3	21,3	20,1	20,1	20,1	24,8	34,2	22,8
	m.	-0,8	5,3	0,8	0,0	6,8	2,2	2,0	8,4	3,4	3,0	7,4	4,3	8,6	7,9	8,7	10,6	10,6	10,4	11,9	11,7	11,7	1,1	3,5	1,9
	k.	21,3	37,3	19,6	18,8	22,3	18,6	17,0	20,7	17,7	16,4	18,6	18,5	13,6	13,6	13,4	10,8	10,7	10,9	8,2	8,4	8,4	23,7	30,7	20,9
XI	M.	13,6	23,2	14,9	12,8	19,1	13,1	12,8	17,3	13,8	12,8	16,0	13,8	14,5	14,4	14,7	14,7	14,6	14,6	15,1	15,1	15,0	16,7	22,3	17,5
	m.	-4,5	-1,4	-3,6	-2,0	-0,4	-1,7	-1,0	-0,2	-1,0	0,3	0,1	-0,3	2,8	2,8	2,6	5,6	5,5	5,3	7,7	7,5	7,4	-4,0	-3,5	-3,8
	k.	18,1	24,6	18,5	14,8	19,5	14,8	13 8	17,5	14,8	12,5	15,9	14,1	11,7	11,6	12,1	9,1	9,1	9,3	7,4	7,6	7,6	20,7	25,8	21,3
XII	M.	9,6	18,0	9,4	8,2	12,0	9,3	8,3	10,9	9,0	8,5	10,3	9,2	9,0	8,9	9,0	9,3	9,2	9,2	10,5	10,4	10,4	14,9	18,8	14,5
	m.	-8,5	-6,2	-7,8	-4,2	-2,4	-3,8	-4,6	-2,3	-4,5	-3,8	-2,7	-2,9	-0,1	-0,2	-0,2	2,2	2,0	2,1	3,7	3,7	3,7	-18,2	-12,5	-17,0
	k.	18,1	24,2	17,2	12,4	14,4	13,1	12,9	13,3	13,5	12,3	13,0	12,1	9,1	9,1	9,2	7,1	7,2	7,1	6,8	6,7	6,7	33,1	31,3	31,5

M = maksimum - maximum; m = minimum - minimum; k = kolebanje - variation